

24. 3. 2004

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日      2 0 0 3 年    3 月 2 5 日  
Date of Application:

出 願 番 号      特 願 2 0 0 3 - 0 8 2 4 3 0  
Application Number:  
[ST. 10/C]:      [ J P 2 0 0 3 - 0 8 2 4 3 0 ]

出 願 人      松下電器産業株式会社  
Applicant(s):

REC'D 21 MAY 2004

WIPO

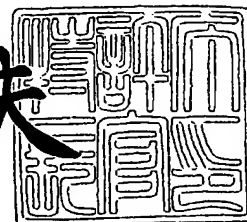
PCT

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年    4 月 2 8 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 2038830663

【提出日】 平成15年 3月25日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H03H 9/00

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】 中村 邦彦

【特許出願人】

【識別番号】 000005821

【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100097445

【弁理士】

【氏名又は名称】 岩橋 文雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100103355

【弁理士】

【氏名又は名称】 坂口 智康

【選任した代理人】

【識別番号】 100109667

【弁理士】

【氏名又は名称】 内藤 浩樹

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 011305

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9809938

【書類名】 明細書

【発明の名称】 機械共振器

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 機械的共振振動を行う振動体と、前記振動体に近接して位置する電極と、を有し、前記電極の表面形状が、前記振動体の共振モード波形であることを特徴とする機械共振器。

【請求項 2】 振動体と電極との間の電圧変化を、前記振動体の共振振動に変換する電気→機械変換機能を有する請求項 1 記載の機械共振器。

【請求項 3】 振動体と電極との間の距離変化を、前記振動体と前記電極との間の静電容量変化に変換する機械→電気変換機能を有する請求項 1 記載の機械共振器。

【請求項 4】 振動体との容量結合における過剰な電荷発生を抑制するように、電極の一部を絶縁体に置き換えたことを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか記載の機械共振器。

【請求項 5】 電極の中心部を絶縁体に置き換えたことを特徴とする請求項 4 記載の機械共振器。

【請求項 6】 電極の端部を絶縁体に置き換えたことを特徴とする請求項 4 記載の機械共振器。

【請求項 7】 振動体と電極との電氣的短絡を回避するために、電極と振動体との少なくとも一方の対向面に絶縁層を設けたことを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか記載の機械共振器。

【請求項 8】 絶縁層は、絶縁性及び潤滑性を有する高分子粒子であることを特徴とする請求項 7 記載の機械共振器。

【請求項 9】 電極の振動体側の面の一部に前記電極から絶縁されて配置された第 1 接点電極と、前記振動体の電極側の面で前記第 1 接点電極と対向する部分の少なくとも一部に前記振動体から絶縁されて配置された第 2 接点電極と、を有することを特徴とする請求項 1 から 8 のいずれか記載の機械共振器。

【請求項 10】 振動体の共振振動の変位量が電極に衝突する程度にまで制御され、再接近した瞬間に前記振動体と前記電極との間の静電力の引き込みにより

前記振動体が前記電極に吸い付くことで第1接点電極と第2接点電極とが接触固定されることを利用したスイッチング機能を有する請求項9記載の機械共振器。

【請求項11】 請求項1から8のいずれか記載の機械共振器を、複数個、電氣的に並列に配置したことを特徴とする機械共振器。

【請求項12】 電極が、振動体と同じ共振周波数の共振モードで振動することを特徴とする請求項11記載の機械共振器。

【請求項13】 請求項1から8のいずれか記載の機械共振器を、複数個、電氣的に直列に配置したことを特徴とする機械共振器。

【請求項14】 請求項1から13のいずれか記載の機械共振器を、雰囲気を真空に封止したケース内に収納したことを特徴とする機械共振器。

【請求項15】 請求項1から8のいずれか記載の機械共振器を用いたことを特徴とするフィルタ。

【請求項16】 請求項1から10のいずれか記載の機械共振器を用いたことを特徴とするスイッチ。

【請求項17】 請求項1から14のいずれか記載の機械共振器を用いた電気回路。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

#### 【発明の属する技術分野】

本発明は機械式の共振器に関し、特に高密度に集積化された電気回路内において、小型で高性能のフィルタ回路やスイッチ回路を実現する手法に関する。

##### 【0002】

#### 【従来の技術】

従来の機械共振器について図18を参照して説明する。図18は非特許文献1に紹介されている機械振動フィルタの構成を簡略化して示した図である。

##### 【0003】

このフィルタは、シリコン基板上に薄膜形成を行うことで形成されている。入力線路104と、出力線路105と、それぞれの線路に対して1ミクロン以下の空隙をもって配置された両持ち梁101、102と、その2つの梁を結合する結

合梁 103 とで構成されている。入力線路 104 から入力した信号は、梁 101 と容量的に結合し、梁 101 に静電力を発生させる。信号の周波数が、梁 101 および 102 および結合梁 103 からなる弾性構造体の共振周波数近傍に一致したときのみ機械振動が励振されるので、この機械振動をさらに出力線路 105 と梁 102 との間の静電容量の変化として検出することで、入力信号のフィルタリング出力を取り出すことができる。

#### 【0004】

矩形断面の両持ち梁の場合、弾性率  $E$ 、密度  $\rho$ 、厚み  $h$ 、長さ  $L$  とすると、共振周波数  $f$  は、次式となる。

#### 【0005】

##### 【数1】

$$f = 1.03 \frac{h}{L^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

#### 【0006】

材料をポリシリコンとすると  $E = 160 \text{ GPa}$ 、 $\rho = 2.2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、また寸法を  $L = 40 \text{ }\mu\text{m}$ 、 $h = 1.5 \text{ }\mu\text{m}$  とすると  $f = 8.2 \text{ MHz}$  となり、約  $8 \text{ MHz}$  帯のフィルタを構成することが可能である。コンデンサやコイルなどの受動回路で構成したフィルタに比べて機械共振を用いることで  $Q$  値の高い急峻な周波数選択特性を得ることができる。

#### 【0007】

##### 【非特許文献1】

Frank D. Bannon III, John R. Clark, and Clark T.-C. Nguyen, "High-Q H F Microelectromechanical Filters," IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 35, No.4, pp.512-526, April 2000

#### 【0008】

##### 【発明が解決しようとする課題】

さらに高周波帯のフィルタを構成するには、(数1) から明らかなことは、第1に材料を変更して  $E/\rho$  を大きくすることである。ただし、 $E$  を大きくすると

梁をたわませる力が同じであっても梁の変位量は小さくなってしまい、梁の変位を検知することが難しくなる。梁の曲がりやすさをあらわす指標を、両持ち梁の梁表面に静荷重を加えたときの梁中心部のたわみ量  $d$  と梁の長さ  $L$  の比  $d/L$  とすると、 $d/L$  は、次式の比例関係で表される。

【0009】

【数2】

$$\frac{d}{L} \propto \frac{L^3}{h^3} \cdot \frac{1}{E}$$

【0010】

従って  $d/L$  の値を保ちながら共振周波数を上げるには、少なくとも  $E$  は変更できず、密度  $\rho$  の低い材料を求める必要があるが、ポリシリコンと同等のヤング率で密度が低い材料としては CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics) 等の複合材料を用いる必要がある。この場合、半導体プロセスで微小機械振動フィルタを構成することは難しくなる。

【0011】

このような複合材料を用いない第2の方法は、(数1)において梁の寸法を変更して  $h \cdot L^{-2}$  を大きくすることである。しかし、 $h$  を大きくすることと  $L$  を小さくすることはたわみやすさの指標である(数2)の  $d/L$  を小さくしてしまい、梁のたわみを検出することが難しくなる。

【0012】

(数1) および(数2) について  $\log(L)$  と  $\log(h)$  の関係を図19に示すと、現寸法A点を起点に傾き2の直線より上の範囲の  $L$  と  $h$  を選ぶと  $f$  は大きくなり、傾き1の直線より下の範囲の  $L$  と  $h$  を選ぶと  $d/L$  は大きくなる。従って、図中のハッチング部分が梁のたわみ量も確保しつつ共振周波数を上げることができる  $L$  と  $h$  の範囲である。

【0013】

図19より明らかなことは、機械振動フィルタの高周波化には、 $L$  および  $h$  双方の寸法の微小化が必要条件であり、 $L$  および  $h$  を同じスケールで小型化す

ること、すなわち傾き 1 の直線に乗りながら  $L$  と  $h$  を小さくすることは、図 19 のハッチング部分の十分条件である。

#### 【0014】

このように、機械振動体の寸法を小型化した機械共振器を用いることで、共振周波数は高周波化されるが、それでも梁の振動は小さくなるので振動を検出する信号が微弱になることは避けられず、外乱の影響を受けやすくなる。

#### 【0015】

本発明は、微小な機械共振器を用いたフィルタ等の回路部品の高性能化を実現する手段を提供することを目的とする。

#### 【0016】

##### 【課題を解決するための手段】

この課題を解決するために本発明は、電極表面形状を振動体の共振モード形状にすることで、共振振動を行う振動体の単位変位量あたりの容量変化を大きくし、電気信号を効率よく機械振動に変換する構造、または機械振動を効率よく電気信号に変換する構造を実現した。

#### 【0017】

また、電気→機械信号への変換効率の向上により、大きな共振振動が得られるので、共振状態の振動体を電極へ接触させ、静電力で保持するスイッチ機構も可能となった。

#### 【0018】

##### 【発明の実施の形態】

本発明の第 1 の発明は、機械的共振振動を行う振動体と、前記振動体に近接して位置する電極と、を有し、前記電極の表面形状が、前記振動体の共振モード波形であることを特徴とする機械共振器であり、特に、振動体と電極との間の電圧変化を、前記振動体の共振振動に変換する電気→機械変換機能を有する機械共振器としたものであり、あるいは、振動体と電極との間の距離変化を、前記振動体と前記電極との間の静電容量変化に変換する機械→電気変換機能を有する機械共振器である。

#### 【0019】



本発明の第2の発明は、前記第1の発明において、振動体との容量結合における過剰な電荷発生を抑制するように、電極の一部を絶縁体に置き換えたことを特徴とする機械共振器であり、特に、電極の中心部を絶縁体に置き換えたことを特徴とするものであり、あるいは、電極の端部を絶縁体に置き換えたことを特徴とするものである。

#### 【0020】

本発明の第3の発明は、前記第1、第2の発明において、振動体と電極との電氣的短絡を回避するために、電極と振動体との少なくとも一方の対向面に絶縁層を設けたことを特徴とする機械共振器であり、特に、絶縁層は、絶縁性及び潤滑性を有する高分子粒子であることを特徴とするものである。

#### 【0021】

本発明の第4の発明は、前記第1～第3の発明において、電極の振動体側の面の一部に前記電極から絶縁されて配置された第1接点電極と、前記振動体の電極側の面で前記第1接点電極と対向する部分の少なくとも一部に前記振動体から絶縁されて配置された第2接点電極と、を有することを特徴とする機械共振器であり、特に、振動体の共振振動の変位量が電極に衝突する程度にまで制御され、再接近した瞬間に前記振動体と前記電極との間の静電力の引き込みにより前記振動体が前記電極に吸い付くことで第1接点電極と第2接点電極とが接触固定されることを利用したスイッチング機能を有するものである。

#### 【0022】

本発明の第5の発明は、前記第1～第3の発明における機械共振器を、複数個、電氣的に並列または直列に配置したことを特徴とする機械共振器であり、電極が、振動体と同じ共振周波数の共振モードで振動することを特徴としてもよい。

#### 【0023】

本発明の第6の発明は、前記第1～第5の発明における機械共振器を、雰囲気真空に封止したケース内に収納したことを特徴とする機械共振器である。

#### 【0024】

本発明の第7の発明は、前記第1～第3の発明における機械共振器を用いたことを特徴とするフィルタであり、あるいは、前記第1～第4の発明における機械

共振器を用いたことを特徴とするスイッチである。

【0025】

本発明の第8の発明は、前記第1～第6の発明における機械共振器を用いた電気回路としたものである。

【0026】

以下、本発明の実施の形態について、図1から図17を用いて説明する。

【0027】

(実施の形態1)

図1は、本発明の実施の形態1に関わる機械共振器の概要図である。振動体1はその両端を固定された両持ち梁であり、厚み $h$ 、幅 $W$ 、長さ $L$ である。電極2は振動体1に近接して設けられている。両者の接触による電氣的短絡を避けるために電極2表面には厚さ $d$ 、比誘電率 $\epsilon_r$ の絶縁層3が設けられている。両持ち梁である振動体1の横振動一次共振モードを利用するとすると、その共振モード形状は図中の $x$   $y$ 座標を用いて、次式で表される。

【0028】

【数3】

$$y(x) = y_{\max} \left[ \frac{1}{1.6164} \{ \zeta (\cos kx - \cosh kx) + \sin kx - \sinh kx \} \right]$$
$$\zeta = -1.01781, \quad k = 4.730/L$$

【0029】

その最大値 $y_{\max}$  ( $x = L/2$ のとき)は振動体にかかる励振力の大きさや、振動体内部の熱損失、周辺の空気の粘性などにより決定される。電極2および絶縁層3の表面も(数3)の形状を有するなだらかな凹形状をしており、その深さ $\delta_{\max}$ は振動体1の振動振幅 $y_{\max}$ よりも大きめにとっている。具体的には電極2の表面形状は、次式のように設定してある。

【0030】

## 【数 4】

$$y(x) = -(\delta_{\max} + d) \left[ \frac{1}{1.6164} \{ \zeta (\cos kx - \cosh kx) + \sin kx - \sinh kx \} \right]$$

## 【0031】

なお、過度の励振力等による振動体と電極との接触を想定しなければ絶縁層 3 を設ける必要はない。

## 【0032】

図 2 は図 1 の機械共振器を電気→機械変換に用いた場合であり、振動体 1 と電極 2 の間にバイアス電圧  $V_b$  および交流信号  $v_i$  ( $v_i \ll V_b$ ) が印加されている。この振動体 1 の弾性振動を等価質量  $m$  なるバネ質点系におきかえて考えると、この質点には、次式で表される静電力がかかる。

## 【0033】

## 【数 5】

$$F = -\frac{1}{2} \frac{\partial C}{\partial y} (V_b + v_i)^2 \cong -\frac{1}{2} \frac{\partial C}{\partial y} (V_b^2 + 2V_b v_i)$$

## 【0034】

$C$  は振動体と電極間の静電容量である。右辺第一項はバイアス電圧  $V_b$  によるバイアス力をあらわす。(数 5) より交流信号電圧の励振力への変換は、振動体の単位変位量あたりの容量変化である  $|\Delta C / \Delta y|$  が大きいほど効率がよい。

(数 4) であらわされる電極形状を用いた図 2 の構造では、図 3 のような従来の平行平板型の電極構造に比べてより大きな  $|\Delta C / \Delta y|$  が得られることを次に示す。

## 【0035】

図 2 において  $d = 0.1 \mu\text{m}$ 、 $\epsilon_r = 1$ 、 $\delta_{\max} = 1 \mu\text{m}$ 、 $L = 40 \mu\text{m}$ 、 $W = 20 \mu\text{m}$  としたときの振動体中央部の変位量  $y$  と静電容量  $C$  の関係を図 4 に示す。なお、同じ  $d$ 、 $\epsilon_r$ 、 $\delta_{\max}$ 、 $L$ 、 $W$  の値の図 3 の構造における  $y$  と  $C$  の関係も図 4 に併せて示した。

## 【0036】

$y=0$  近傍では、図3の構造では  $|\Delta C/\Delta y| = 3.1 \times 10^{-9}$  [F/m] であるが、図2の構造では  $|\Delta C/\Delta y| = 9.8 \times 10^{-9}$  [F/m] まで改善されている。すなわち、同じ交流信号  $v_i$  でも図2の構造をとることで、より大きな共振振動を得ることができる。なお、例えば振動体の共振振幅が  $\pm 0.1 \mu\text{m}$  の範囲内で振動し、それ以上の振幅は電気回路的にまたは機械的に抑制されることが保証されていれば、 $\delta_{\text{max}}$  の値はより小さく設定することができる。 $\delta_{\text{max}} = 0.3 \mu\text{m}$  とすると、 $y$  と  $C$  の特性は図5のようになり、図2の構造で  $|\Delta C/\Delta y| = 4.7 \times 10^{-8}$  [F/m] までさらに改善された。

## 【0037】

図4において  $y$  と  $C$  の関係が線形とみなせる領域では  $\Delta C/\Delta y$  は一定値となり、(数5) から、交流電圧と励振力との関係は線形として取り扱うことができる。

## 【0038】

(実施の形態2)

図6は図1の構造の機械共振器を機械→電気変換器に利用した例である。 $y$  軸方向に横振動を行う振動体1の変位は電極2との間の容量  $C$  の変化として検出される。流れる電流  $i$  は、次式のようになり、振動速度と  $\Delta C/\Delta y$  の積であらわされる。

## 【0039】

【数6】

$$i = \frac{dq}{dt} \cong \frac{dC}{dy} \frac{dy}{dt} V$$

## 【0040】

$\Delta C/\Delta y$  がほぼ一定値とみなせる変位領域を用いると、梁の変位信号は電流信号を積分器に通すことで再生され、このとき  $|\Delta C/\Delta y|$  が大きいほど大きな電流信号が得られる。図6において図2と同様に  $d = 0.1 \mu\text{m}$ 、 $\epsilon_r = 1$ 、 $\delta_{\text{max}} = 1 \mu\text{m}$ 、 $L = 40 \mu\text{m}$ 、 $W = 20 \mu\text{m}$  とすると、図4ですでに示した

とおり図6の構造を採用した方が図3の平行平板構造よりも大きな $|\Delta C/\Delta y|$ が得られることから、微弱な振動を効率よく電気信号に変換することができる。

#### 【0041】

##### (実施の形態3)

図7は図18に示したフィルタ構造の電気→機械変換部である入力線路104と両持ち梁101との容量結合部分および機械→電気変換部である出力線路105と両持ち梁102との容量結合部分の双方に、本発明の実施の形態1および2として図1に示した共振モード形状を有する電極形状を適用し、さらに複数のフィルタを並列に配置し、入力電圧を分岐して各フィルタに入力し、かつ、各フィルタの出力電流信号をまとめて取り出した構造である。このように適宜フィルタの個数を調整することにより、特に高周波回路で問題となるインピーダンス不整合による反射信号を減少させ、効率よく電気信号を機械振動に変換し、かつ機械振動を再び電気信号として取り出すことができる。

#### 【0042】

次に複数のフィルタを直列に配した例を示す。図8は梁構造の上面図であり、梁側面a1、a2、b1、b2、c1、c2部の6箇所が固定面とした固定された構造である。この構成により長さL、幅Wの2つの両持ち梁を構成したこととほぼ等価となる。どちらか一方の両持ち梁の振動は固定面b1、b2の間を介して他方の両持ち梁に伝わるので、この固定面b1、b2の間が結合梁の役割を果たしている。図9は図8の梁構造の一方の両持ち梁を図1の電極構造を有する入力線路104と容量結合させ、もう一方の両持ち梁を図1の電極構造を有する出力線路105と容量結合させ、さらにこの梁構造を複数個直列に配した構造である。図8の梁構造をとることで容易に直列接続によるインピーダンス整合をとることができるうえに、図18の結合梁103のような極細の衝撃に弱い構造体を作る必要がなくなり、製作にかかる歩留まりも改善される。

#### 【0043】

##### (実施の形態4)

図10は、電気→機械変換器と機械→電気変換器とを個別に有する図18のフ

フィルタ構造とは異なり、1つの振動体で両方の機能を実現させる機械共振器構造である。具体的には実施の形態1の図2に示した電気→機械変換器と実施の形態2の図6に示した機械→電気変換器の双方に共通する構造を共有した形態をとっている。この構造は構成が簡易であることを特長とするが、入力信号 $v_i$ により励振された振動体の変位に伴う容量変化に起因して発生する交流電流以外にも、定常的なコンデンサ容量を介して流れる不要交流電流が発生する。すなわち、図4において交流動作点を例えば $y=0$ とした場合、 $y=0$ における容量が大きいと、励振に起因しない不要交流電流も流れてしまい、フィルタの機能は低下する。従って、 $|\Delta C/\Delta y|$ は大きいことが望ましいことは実施の形態1、2で述べてきた通りであるが、可能な限り $C$ の値は低減する必要がある。

#### 【0044】

そこで本実施の形態では図11(a)に示すように、振動体1に対向する電極2も振動体1と同じ共振周波数の共振モードで振動する構造体とし、モード定在波波長の $1/2$ だけ相対位置をずらして配した。ここでは一次共振モードを使うので梁の長さ $L$ の $1/2$ だけ電極2を $x$ 方向にずらしている。全体の構造を実施の形態3に示した並列構造とし、図11(a)は $x$ 方向への繰り返し構造の一部のみが図示されているものとする。振動体1と電極2の振動の状態を図11(b)に示す。図4に振動変位 $y$ と長さ $L$ あたりのコンデンサ容量 $C$ の関係を示した。図11(a)の状態、すなわち振動変位 $y=0$ のときには、容量 $C$ は図3の平行平板構造と同じ程度に小さな値をとることができる。振動状態を示す図11(b)では容量はきわめて近接する導電体間の容量、すなわち本発明の実施の形態1～2で述べた図2、6の構造における容量まで近づく。その結果、 $y=0$ において $|\Delta C/\Delta y| = 6.3 \times 10^{-9} [F/m]$ となり、図3の平行平板構造の値よりも大きく、図2、図6の構造の値に近づく。従って図11の構造を図10のフィルタに適用することで不要な交流電流が低減され、かつ $|\Delta C/\Delta y|$ の値の大きい高効率のフィルタを構成することができる。

#### 【0045】

図5は $\delta m_{ax} = 0.3 \mu m$ とした場合の $y-C$ 特性であるが、同様に $y=0$ のときの $C$ は図3の平行平板構造なみに小さく、一方で $|\Delta C/\Delta y|$ は図2、

図6の構造と同等にまで大きくすることができることが示されている。

#### 【0046】

##### (実施の形態5)

本実施の形態は、実施の形態4と同じ目的で、不要に発生する交流電流を抑制するために機械共振器のコンデンサ容量の低減を図る方法に関する。図12は図1の構造において、電極2の両端から $\Delta L$ の長さ分の導電性を絶縁性に置き換えた構造である。図13は、 $\Delta L/L$ をパラメータとした場合の振動変位 $y$ と容量 $C$ の関係をあらわしている。ただし、 $d=0.1\mu\text{m}$ 、 $\epsilon_r=1$ 、 $\delta_{\text{max}}=1\mu\text{m}$ 、 $L=40\mu\text{m}$ 、 $W=20\mu\text{m}$ とした。

#### 【0047】

電極の両端の絶縁部を多くするほど、容量 $C$ を低減することができる。ただし $|\Delta C/\Delta y|$ も低下し、同図に参照として示した図3の平行平板構造の $|\Delta C/\Delta y|$ の値まで次第に近づいてくる。 $C$ の低減と $|\Delta C/\Delta y|$ の増加はトレードオフの関係にあり、その中で最適な $y-C$ 特性を選択することができる。

#### 【0048】

##### (実施の形態6)

本実施の形態は、振動体の振動変位 $y$ と容量 $C$ の関係の非線形性を改善する方法に関する。図4に示した $y$ と $C$ の関係を見ると、図3の平行平板構造に比べて、図2や図6の共振モード形状を有する電極を用いることで、機械・電気変換効率の指標である $|\Delta C/\Delta y|$ は改善されたが、振動体のマイナス側変位、すなわち振動体が電極側に近接したときの非線形性が顕著になる。従って(数5)、(数6)の中で $\Delta C/\Delta y$ を定数と考えることが難しくなり、電圧と力、変位と電流間の関係は非線形の複雑な挙動をとる。

#### 【0049】

図14は図1の構造において、電極2の中心部から $x$ 方向の両側に $\Delta L$ の長さ分の導電性を絶縁性に置き換えた構造である。図15は、 $\Delta L/L$ をパラメータとした場合の振動変位 $y$ と容量 $C$ の関係をあらわしている。ただし、 $d=0.1\mu\text{m}$ 、 $\epsilon_r=1$ 、 $\delta_{\text{max}}=1\mu\text{m}$ 、 $L=40\mu\text{m}$ 、 $W=20\mu\text{m}$ とした。

#### 【0050】

電極中心からの絶縁性の部分を多くするほど、振動体 1 が電極 2 に近づいたときの非線形性を抑制することができる。ただし  $|\Delta C / \Delta y|$  は低下するため、両者のトレードオフで最適な  $y-C$  特性を得ることができる。

#### 【0051】

##### (実施の形態 7)

本実施の形態は、電極表面形状を共振モード波形とすることで低電圧で振動体の大きな振幅が得られることを利用したスイッチ構造に関する。図 16 は図 14 の構造において電極 2 の中心部付近の絶縁層 3 a 中に第 1 接点電極として接点 4 a を形成し、その表面を絶縁層 3 a 上に露出させている。振動体 1 の下面中央部にも絶縁層 3 b を介し第 2 接点電極として接点 4 b を形成し、振動体 1 と電極 2 の間に直流バイアス電圧  $V_b$  と交流電圧  $v_i$  を印加している。

#### 【0052】

通常のスイッチは、交流電圧  $v_i$  を用いずに直流電圧  $V_b$  のみを印加して振動体 1 に静電力を加える。 $V_b$  がプルイン電圧を越えるともはや振動体 1 のバネ復元力よりも静電力が勝って急激に振動体 1 は電極方向に吸い寄せられ、接点 4 a、4 b が閉じる。しかしプルイン電圧は通常でも数十～数百ボルトの高電圧となるため、高圧発生回路が必要となる。

#### 【0053】

そこで図 16 のスイッチでは、振動体 1 の共振周波数と同じ周波数の交流電圧  $v_i$  で振動体 1 を励振した。このときの振動体の振動変位量は、同等の静的な静電力を加えた場合の  $Q$  値倍にも及ぶため、振動体 1 は容易に絶縁層 3 a 近傍まで到達し、その後はバイアス電圧  $V_b$  により振動体 1 は電極 2 へ静電吸着される。なお、本実施の形態では、 $Q$  値をあげる目的で、ケース内に収納して雰囲気を真空に封止し、空気の粘性による振動体への減衰効果を極力排除した。

#### 【0054】

##### (実施の形態 8)

図 17 は、電極 2 上の絶縁層 3 の詳細図であり、粒径  $1\ \mu\text{m}$  のフッ素樹脂粒子 5 を無電解メッキ膜 6 とともに単層で電極上に形成させた状態を示している。このように粒径の揃った樹脂粒子を単層で形成することにより絶縁層厚を一定に保



ち、かつフッ素樹脂の潤滑性により振動体がフッ素樹脂粒子 5 に接触しても s t i c t i o n と呼ばれる制御不能な吸着力を減少させることができる。

#### 【0055】

##### 【発明の効果】

以上のように本発明によれば、電極表面形状を振動体の共振モード形状とすることで、共振振動を行う振動体の単位変位量あたりの容量変化を大きくし、電気信号を効率よく機械振動に変換する構造および機械振動を効率よく電気信号に変換する構造を実現した。また電気→機械信号への変換効率の向上に伴い、大きな振動振幅が得られるので、振動体を電極へ接触させ、静電力で保持するスイッチ機構も実現できた。これにより高密度に集積化された電気回路内において、小型で高性能のフィルタ回路やスイッチ回路の実現が可能となった。

##### 【図面の簡単な説明】

##### 【図1】

本発明の一実施の形態による、電極表面形状を両持ち梁の横振動 1 次共振モード波形とした機械共振器の構造を示す概略図

##### 【図2】

本発明の一実施の形態による、電気→機械変換器の構造を示す概略図

##### 【図3】

従来の、電極を平行平板形状とした機械共振器の構造を示す概略図

##### 【図4】

本発明の一実施の形態による、共振する振動体の振動変位  $y$  と静電容量  $C$  の関係 ( $\delta_{max} = 1 \mu m$ ) を示す特性図

##### 【図5】

本発明の一実施の形態による、共振する振動体の振動変位  $y$  と静電容量  $C$  の関係 ( $\delta_{max} = 0.3 \mu m$ ) を示す特性図

##### 【図6】

本発明の一実施の形態による、機械→電気変換器の構造を示す概略図

##### 【図7】

本発明の一実施の形態による、並列に配置された機械共振フィルタの構成を示

す概略図

【図 8】

本発明の一実施の形態による、6点固定型の梁構造の上面図

【図 9】

本発明の一実施の形態による、図 8 の梁構造を用いて直列に配置された機械共振フィルタの構成を示す概略図

【図 10】

本発明の一実施の形態による、簡易な電気→機械→電気変換機能を有する機械共振フィルタの構成を示す概略図

【図 11】

本発明の一実施の形態による、電極も共振構造を有する機械共振器の構成を示す概略図

【図 12】

本発明の一実施の形態による、電極両端を絶縁性とした機械共振器の構成を示す概略図

【図 13】

本発明の一実施の形態による、図 12 の構造における振動変位  $y$  と静電容量  $C$  の関係を示す特性図

【図 14】

本発明の一実施の形態による、電極中央部を絶縁性とした機械共振器の構成を示す概略図

【図 15】

本発明の一実施の形態による、図 14 の構造における振動変位  $y$  と静電容量  $C$  の関係を示す特性図

【図 16】

本発明の一実施の形態による、スイッチ構造を有する機械共振器の構成を示す概略図

【図 17】

本発明の一実施の形態による、テフロン (R) 粒子を用いた絶縁層を示す概略

図

## 【図 1 8】

従来の機械共振器を用いたフィルタを示す概略図

## 【図 1 9】

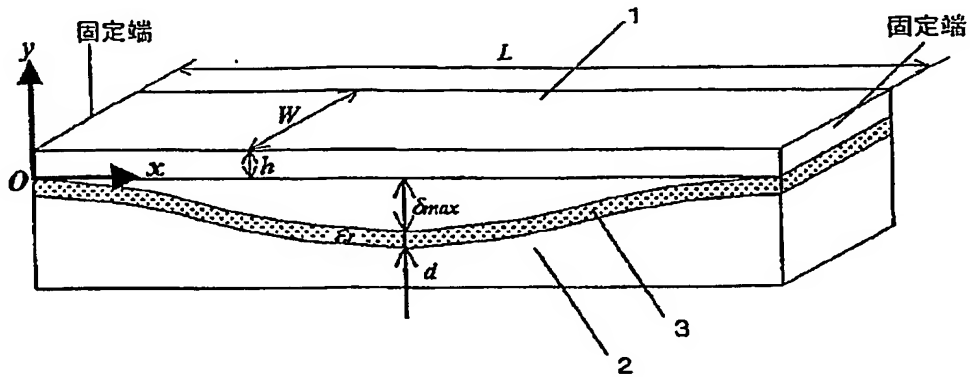
従来例における、機械共振器の寸法と高周波化の関係を示す特性図

## 【符号の説明】

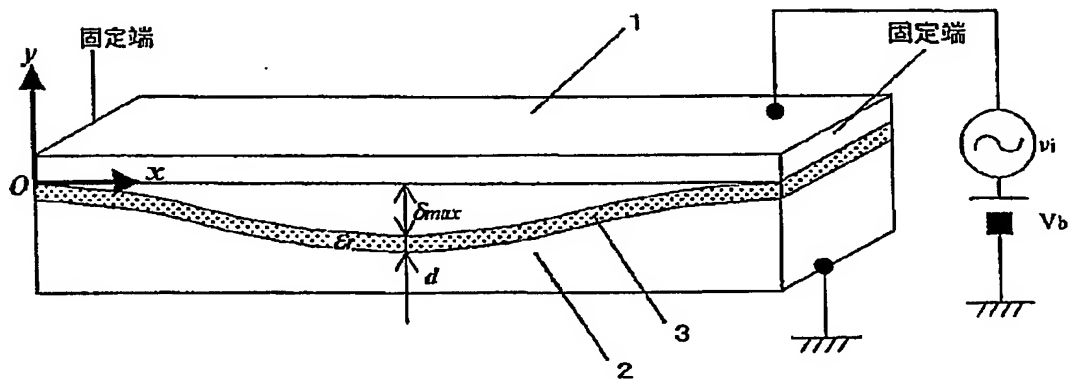
- 1 両持ち梁型振動体
- 2 電極
- 3、3 a、3 b 絶縁層
- 4 a、4 b 接点
- 5 フッ素樹脂粒子
- 6 無電解メッキ膜
- 1 0 1、1 0 2 両持ち梁型振動体
- 1 0 3 結合梁
- 1 0 4 入力線路
- 1 0 5 出力線路

【書類名】 図面

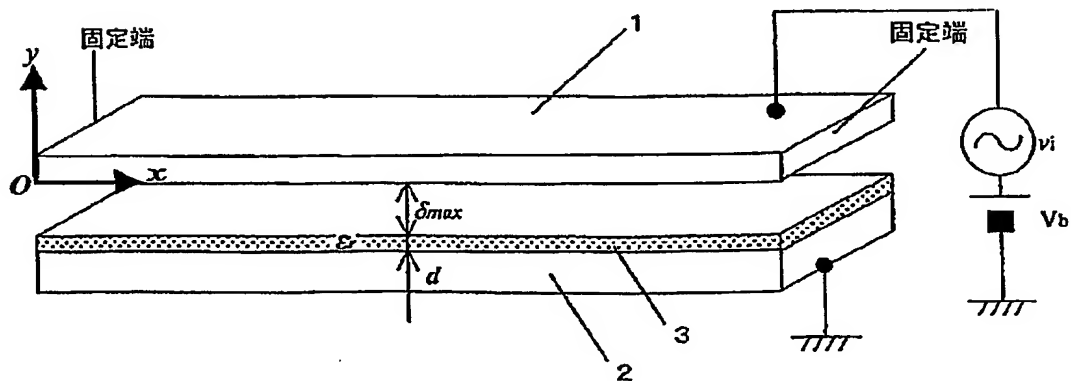
【図 1】



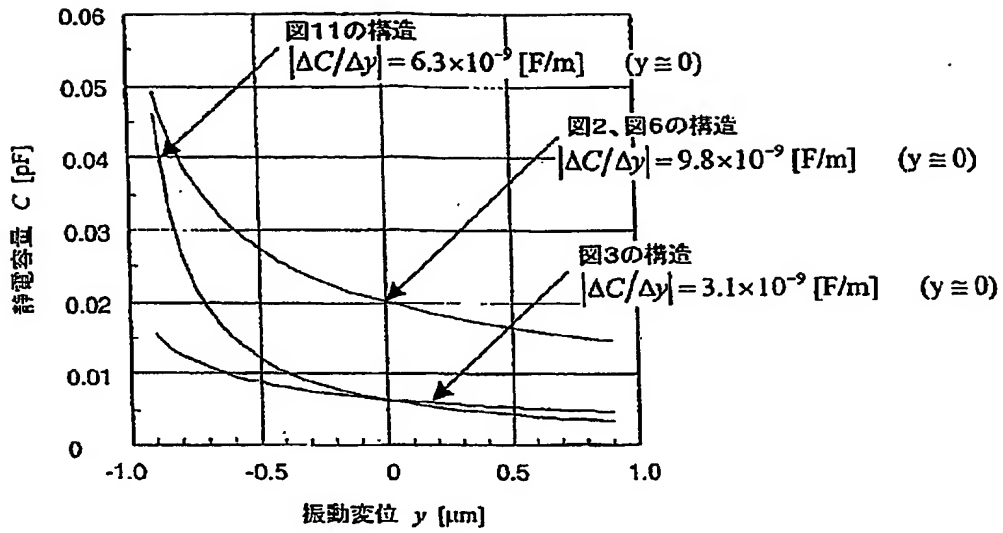
【図 2】



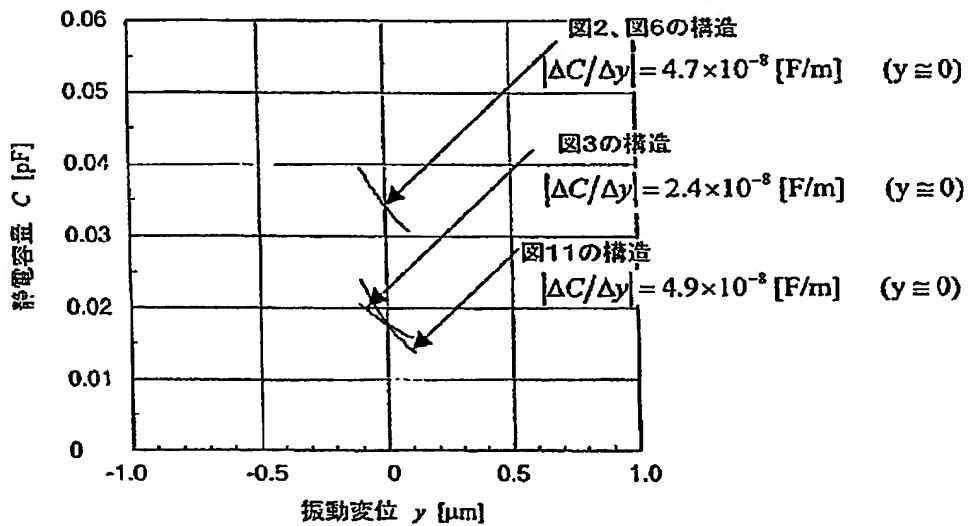
【図 3】



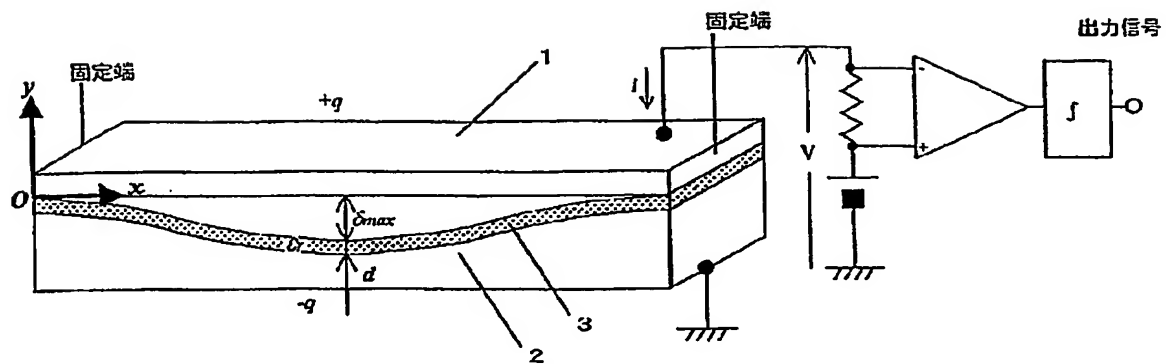
【図 4】



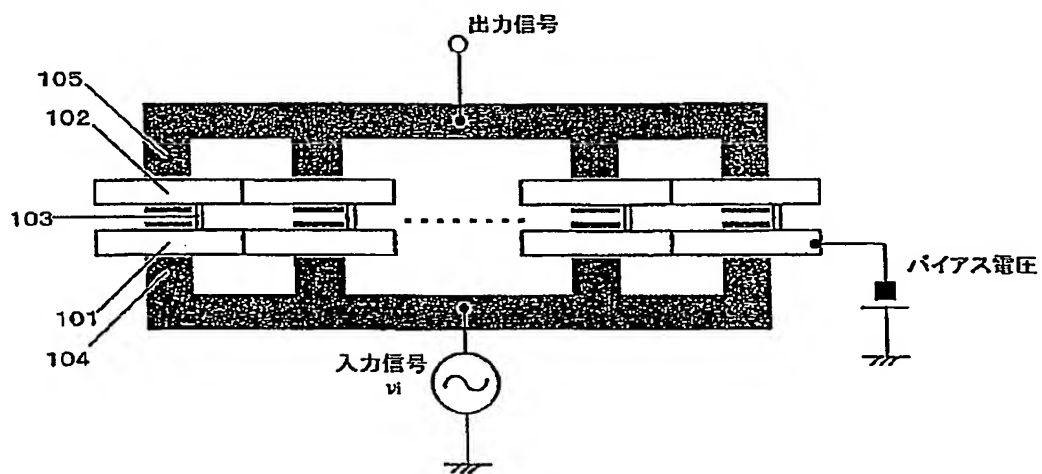
【図 5】



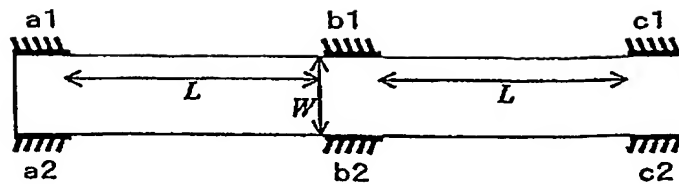
【図 6】



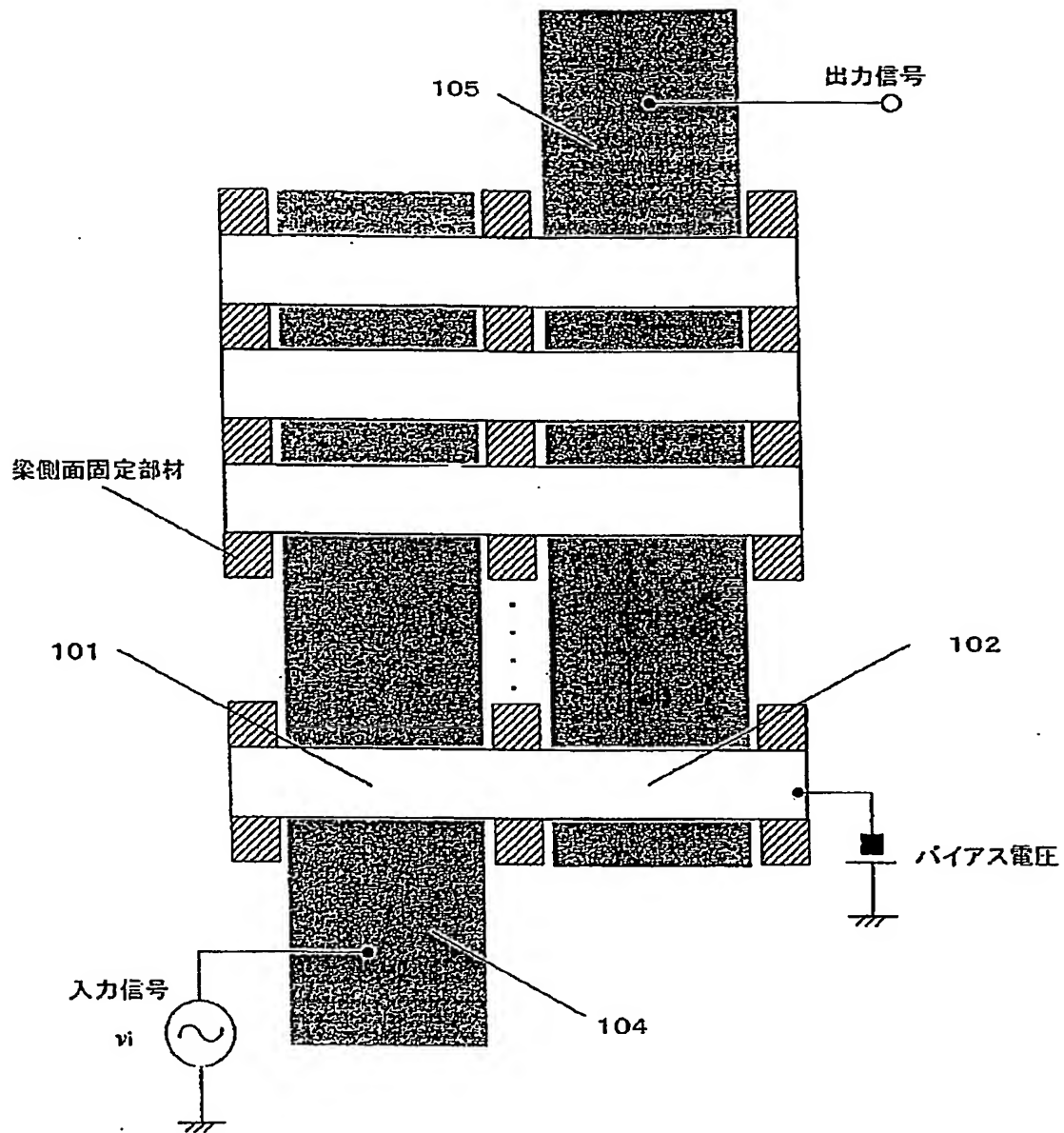
【図 7】



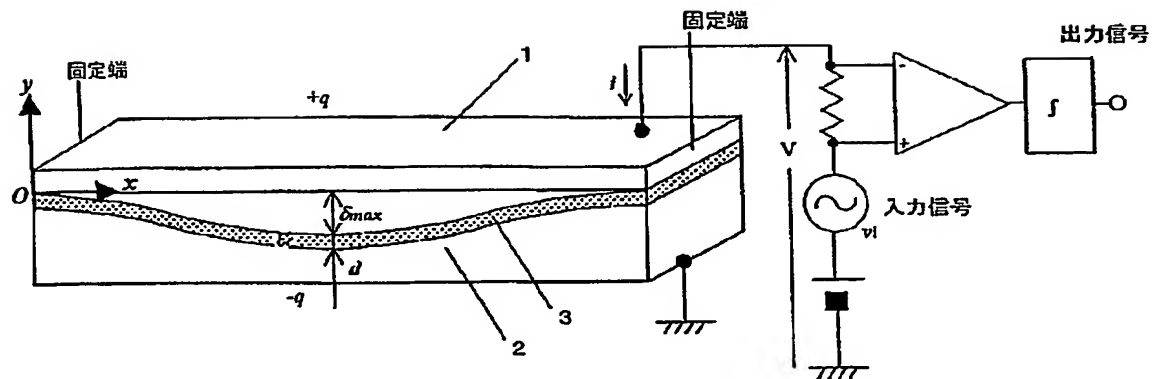
【図 8】



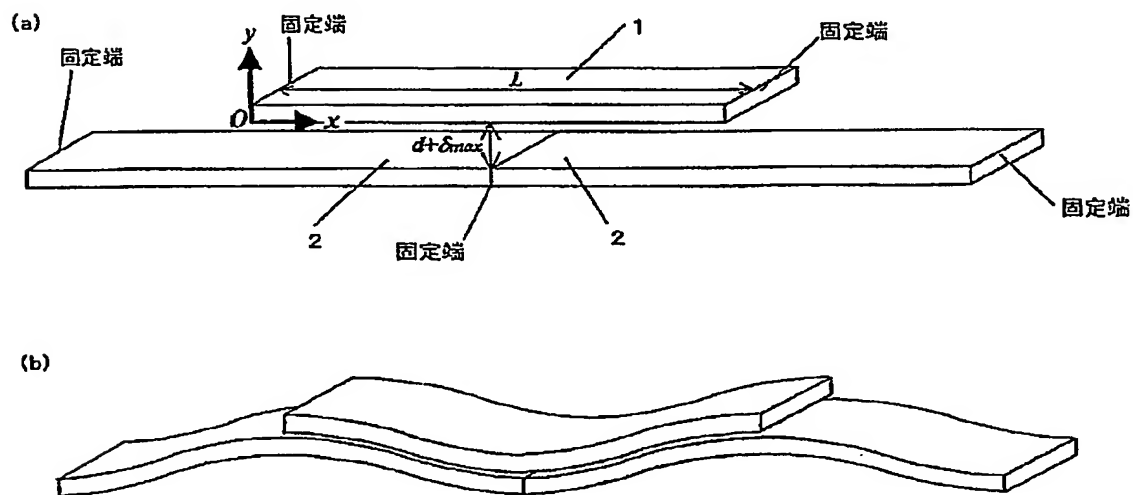
【図 9】



【図 10】

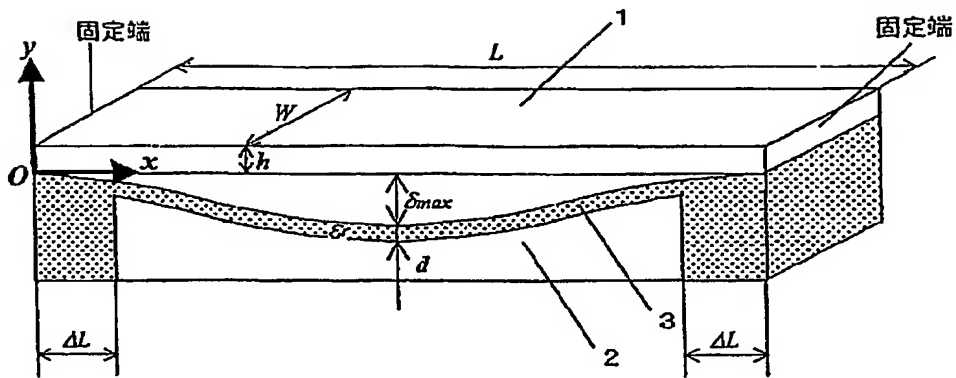


【図 11】

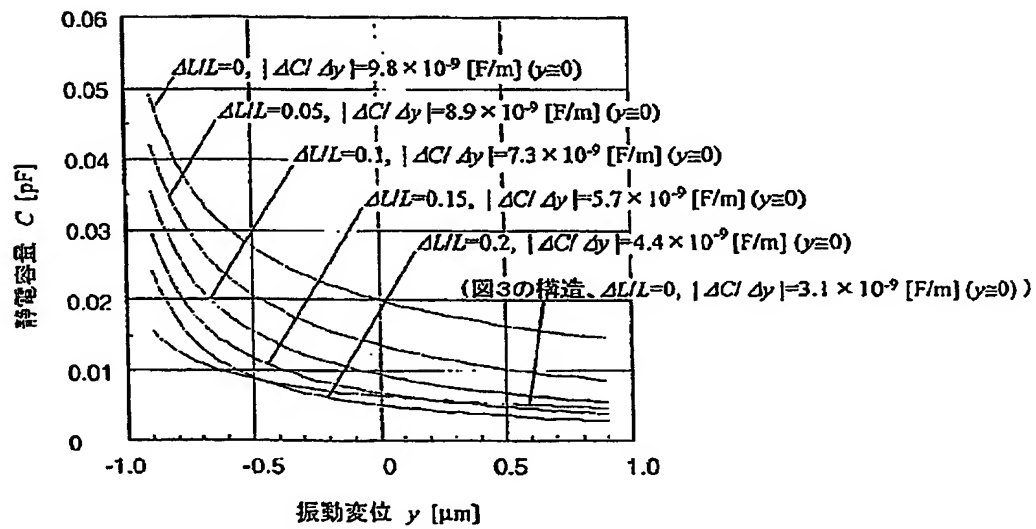




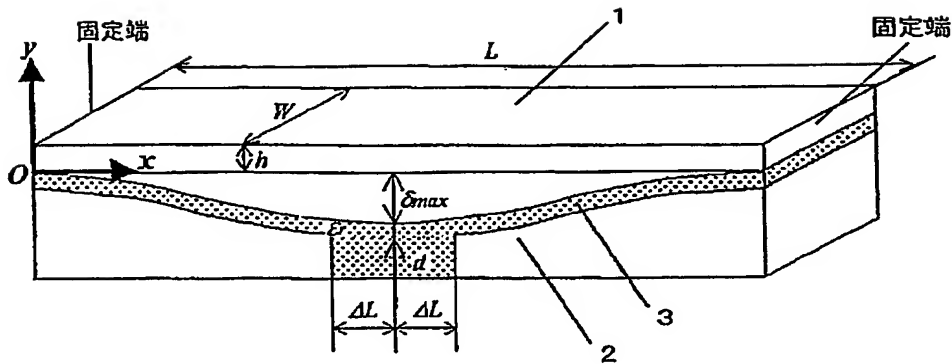
【図 12】



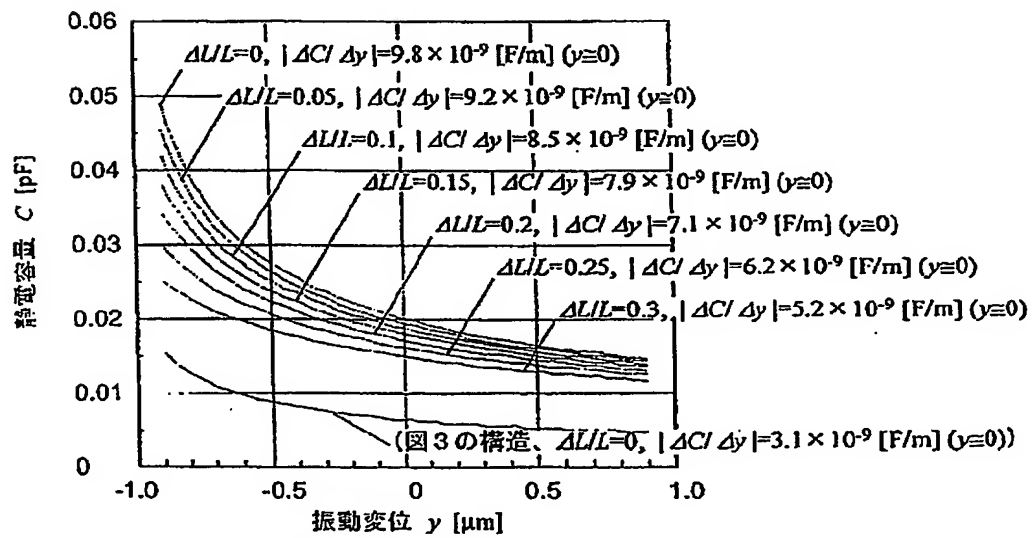
【図 13】



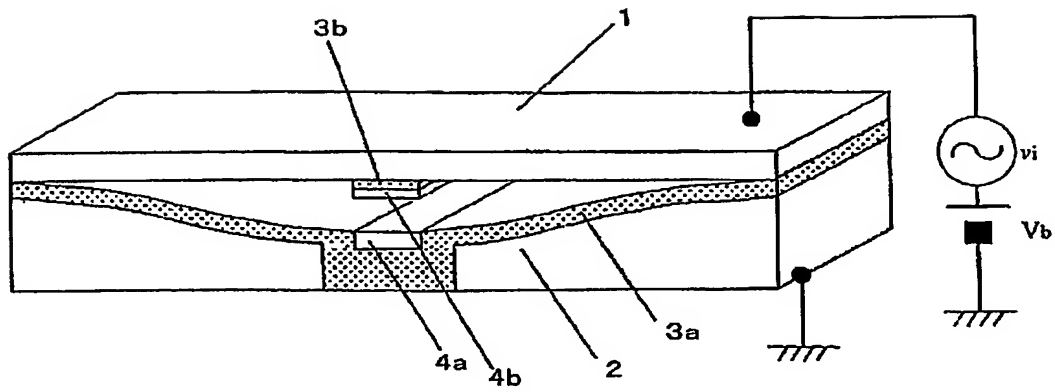
【図 14】



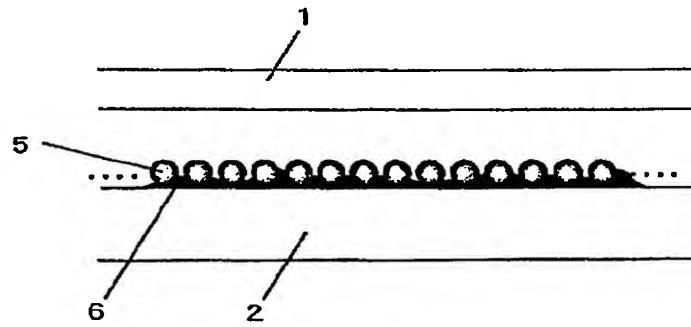
【図 15】



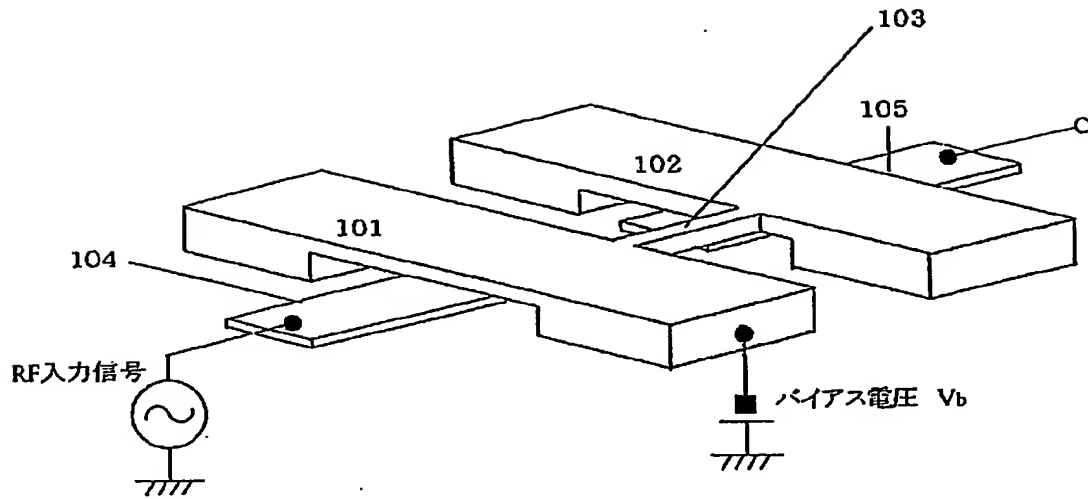
【図 16】



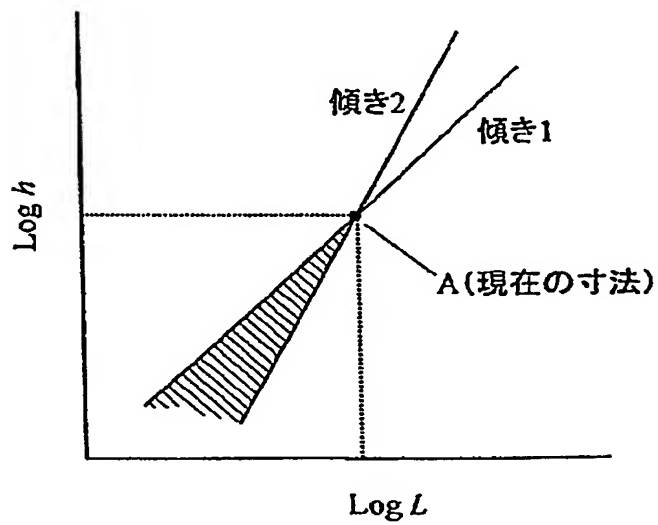
【図 17】



【図 18】



【図 19】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 本発明は、機械振動式フィルタ等に用いる小型高性能の機械共振器を提供することを目的とする。

【解決手段】 機械的共振振動を行う振動体 1 と、振動体 1 に近接して位置する電極 2 とを有し、電極 2 の表面形状が振動体 1 の共振モード波形となるように機械共振器を構成することで、単位振動変位量あたりの静電容量変化を大きくし、効率よく電気→機械変換または機械→電気変換を行う機械共振器を実現することができる。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 0 8 2 4 3 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 5 8 2 1 ]

1. 変更年月日  
[変更理由]

1 9 9 0 年 8 月 2 8 日

新規登録

住 所  
氏 名

大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地  
松下電器産業株式会社